

黄河河口域沿岸における海底地下水湧出調査

石飛智稔¹、谷口真人¹、陳建耀²、小野寺真一³

1. 総合地球環境学研究所 2. 中山大学大学院地理科学科 3. 広島大学総合科学部

はじめに

本研究プロジェクトの目的の一つは『河川および地下水による渤海湾への物質負荷量の評価』である。この目的を達成するためには、渤海湾への河川水の流出量および溶存成分・地下水の流出量および溶存成分の評価を行わねばならない。河川の流出については、流量観測所にてその流量および溶存物質の測定が行われており、比較的容易にその結果を得ることが可能である。しかしながら、地下水の流出については一般に見えない現象であるためにその評価が難しい。本研究の目的はその海底からの地下水流出量の定量的評価であり、その目的を達成するために、シーページメータを用いて 2004 年度より毎年、黄河河口南部地域にて地下水湧出量の直接測定を行っている。

黄河デルタからの地下水流出について、2004 年度・2005 年度の観測より、デルタ全体からの地下水流出量は、黄河からの河川流出量の 2.9~8.5%程度と推定されている（石飛ほか、2005、および 2005 年度黄河プロジェクト研究会（伊勢）より）。しかしながらその結果には、測定精度の問題、地下水湧出量の位置変化などの課題が未だ残されている。他方、フロリダ大 G（William C Burnett ほか）によって、Ra を用いた地下水湧出量の測定が本研究地域において行われている。そこで正確な地下水流出量の評価のために、フロリダ大 G と同スケールでの観測を行い、他の手法とのクロスチェックを図ることを目的として、今回、再び黄河河口南部地域において地下水湧出量の観測を行った。

また、一般に夏季であれば、陸域地下水の水温は海水温よりも低い。従って、もし海底から活発な地下水湧出が生じていれば、その湧出点付近の水温は周囲の水温よりも低くなることが予測される。近年、実際に海底面の温度探査による海底地下水湧出の評価を行った研究例もいくつか見られる（小山ほか、2005 など）。そこで、温度測定用光ファイバーケーブルを用いて、海底面の温度を『線』状に測定し、広範囲での地下水湧出点の探査を行った。

観測方法および観測地域概要

観測方法は、海底からの地下水湧出量の評価については、シーページメータを用いて測定を行った。本研究に用いたものは自記連続測定が可能なヒートフロータイプのシーページメータであり、測器の詳細については谷口・岩川（2001）に記されている。このシーページメータの湧出水集水部に CT センサー（Conductivity-Temperature センサー、アレック電子社製『Compact-CT』）を設置し、湧出水の電気伝導度・水温の測定も同時に行っている。またそれらのほかに、温度測定用光ファイバーケーブル（全長 200m、日立電線製）を用いて、海底面の温度測定を 1m 間隔で行った。

図 1 に測器の設置概要を示す。シーページメータ・CTセンサーについては海岸から 7000m の範囲に 1000m 間隔で設置を行っている (A1~A7)。測定期間は 2006 年 9 月 18~23 日であり、湧出水の湧出量・電気伝導度・水温については 1 分間隔での測定を行った。光ファイバーケーブルによる海底面の温度測定については、図 1 中の T1・T2・T3・T4・T5 の計 5 地点において、それぞれ 1 分毎に約 20 分間の測定を行った。5 地点の内、T1 は河床にて、T2 については満潮時には海水に覆われるが干潮時には干潟が露出する潮間帯にて測定を行った。

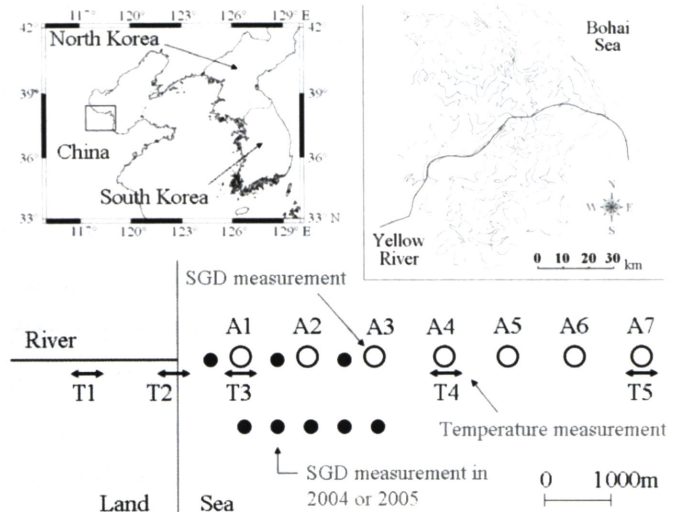


図 1. 調査地域概要図

海底からの地下水湧出量の評価

図 2 にシーページメータによる地下水湧出量の測定結果を、また図 3 にその平均値とこれまでに得られた結果 (2004・2005 年度の結果) を加えたものをそれぞれ示す。A4 地点のみは残念ながら測器に不調が生じ、観測結果を得ることができなかった。図 2 を見ると、地下水湧出量の時間変化に周期性が見られるがこれは潮位の変化に対応するものと考えられる。潮位の変化に対応する地下水湧出量の変化は、これまでの海底地下水湧出に関する研究において数多く確認されている (Taniguchi, 2002 ; Kim and Hwang, 2002 など)。次に図 3 を見ると、まず 2006 年度の結果については、地下水湧出量が各地点で概ね 50cm/d 以下の値を示すのに対し、3000m 地

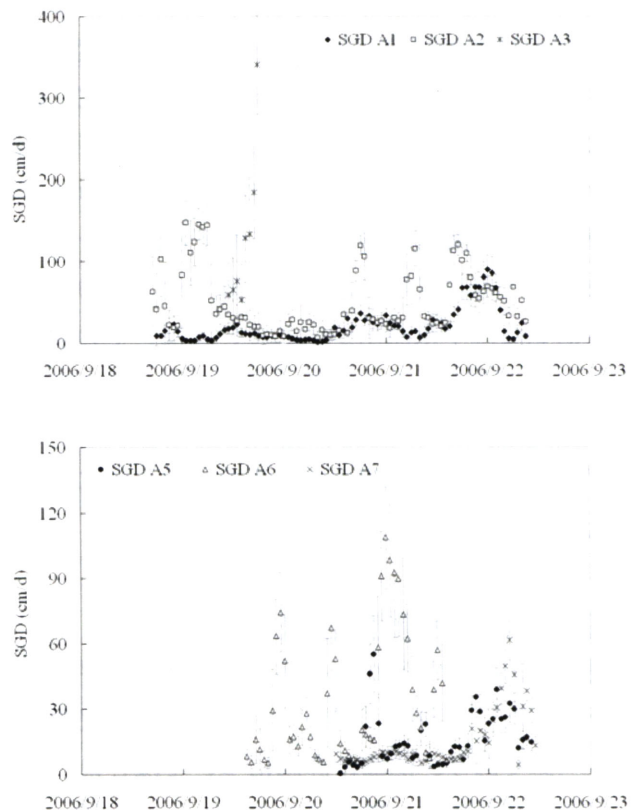


図 2. 地下水湧出量の時間変化

(上段-A1, A2, A3, 下段-A5, A6, A7)

1 分間隔で測定されたものを、1 時間平均値で示す。

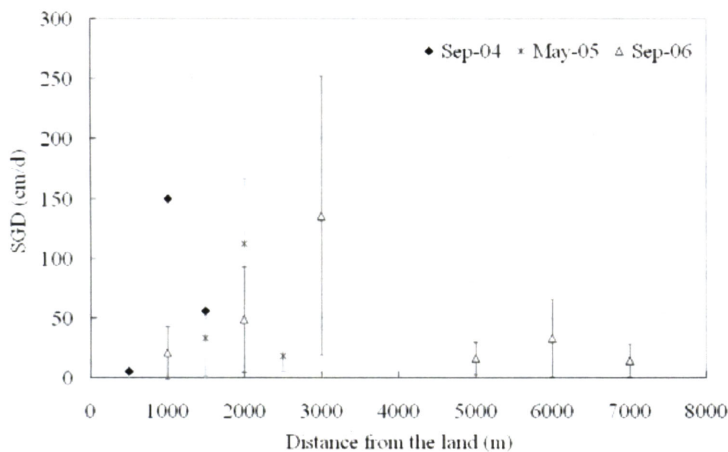


図 3. 地下水湧出量の平均値

りがあるが、本地域は黄河からの堆積物により陸域の拡大が続いている地域でありそれとの関連や、また、地下水湧出地点の時間移動については、これまで全く指摘されていない現象であるため、今後の観測に期待が持たれる。

これまでの海底地下水湧出に関する研究より、海底からの湧出地下水には純粋な陸域起源の地下水に加え、海水がいったん海底下に潜り再び湧出する再循環水が含まれることが明らかにされている (Taniguchi *et al.*, 2002)。従って、陸域からの水・物質の輸送量を評価するためには、海底からの湧出水を陸域地下水・再循環水に分けて評価を行わねばならない。そのため、本研究では電気伝導度を指標として両者の分離を行っている。

一般に、陸域地下水の電気伝導度と海水の電気伝導度は大きく異なる。その性質を利用し、下記の式を用いて陸域由来の地下水湧出量の評価を行った。

$$SGD = SFGD + RSGD \quad (1)$$

$$SGD \times Csgd = SFGD \times Csfgd + RSGD \times Crsgd \quad (2)$$

ここで (1) 式は湧出水の水収支を表す式であり、 SGD (Submarine Groundwater Discharge) は海底からの湧出水全体の湧出量を、 $SFGD$ (Submarine Fresh Groundwater Discharge) は陸域由来の地下水の湧出量を、

$RSGD$ (Recirculated Submarine Groundwater Discharge) は再循環水の湧出量をそれぞれ示す。次に (2) 式は湧出水の物質収支を示すものであり、 $Csgd$ は湧出水の電気伝導度を、 $Csfgd$ は陸域地下水の電気伝導度を、 $Crsgd$ は海水の電気伝導度をそれぞれ示す。湧出水の電気伝導度については、設置の問題が生じ 4 地点のみし

点 (A3) のみは 140cm/d と高い値を示している。2004・2005 年度の結果を見ると、2004 年度は海岸から 1000m 地点に湧出量のピークの地点が見られ、2005 年度では 2000m 地点にピークが見られる。これらのことから、約 1 年おきに地下水湧出量の高い地点が 1000m ずつ沖合いにシフトする傾向が見られる。データ数には限

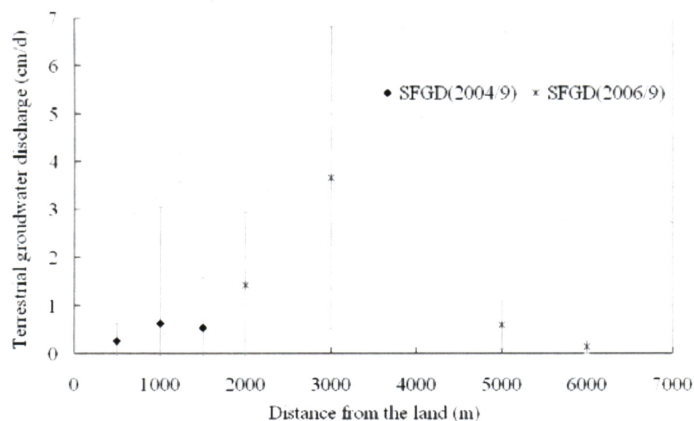


図 4. 湧出水に含まれる陸域地下水のみの湧出量

か結果が得られなかった (A2・A3・A5・A6)。それらの値は概ね 42mS/cm 程度を示し、海水の電気伝導度に近い値 (43mS/cm 程度) であった。この (1) 式と (2) を連立して解くことにより陸域由来地下水のみの湧出量の算出を行った結果と、既に結果の得られている 2004 年の陸域由来地下水の湧出量を図 4 に示す。その結果から、陸域由来地下水の湧出量は海岸から 3000m 地点 (A3) が最も湧出量が大きく、その地点を境に陸側・沖側へ行くに連れ湧出量が減少する傾向が見られる。

これまで陸域由来の地下水湧出量は、海岸付近が最も高く沖合いに向かうに連れ低くなるものと考えられていた (Bokuniewicz, 1992)。しかしながら、近年の野外観測結果からは、海岸から少し離れた地点に湧出量の高い地点が確認されている (Taniguchi *et al.*, 2006)。この地下水湧出量の分布については未だ明らかにされておらず、沿岸域の地下水研究における今後の課題である。

海底面温度測定による地下水湧出点探査

近年、海底付近の水温を用いて地下水湧出の評価を行っている研究例がいくつか見受けられる。本研究においても、地下水湧出点の探査を目的として光ファイバーケーブルを利用して海底面の温度測定を試みた。

海底面の温度測定は図 1 に示す計 5 地点で行った。ここでは地下水湧出量の測定結果が得られている T5 (A7) の海底面温度測定結果を図 5 に示す。海底面の温度測定は各地点で 1 分毎に約 20 分の測定を行っており、図 5 に示したものは、約 20 分間の測定結果の内のある時間の測定結果を代表として示している。それを見ると海底面の温度は概ね 24.4℃程度を示しており、特に特徴的な値を示す地点は見られない。また、図 5 で示した以外の時間の測定結果についても、図 5 と同様な傾向が得られている。従って、T5 (A7) 付近の海底では特に地下水湧出が活発な地点は見られないものと考えられる。T5 以外の地点も、T5 と同様に温度の急変点は見られなかったため、顕著に地下水湧出が生じている地点は見られないものと考えられる。

また温度と同様にシーページメータによる地下水湧出量の測定も 1 分間隔で行っている。図 6 に A7 (T5) における

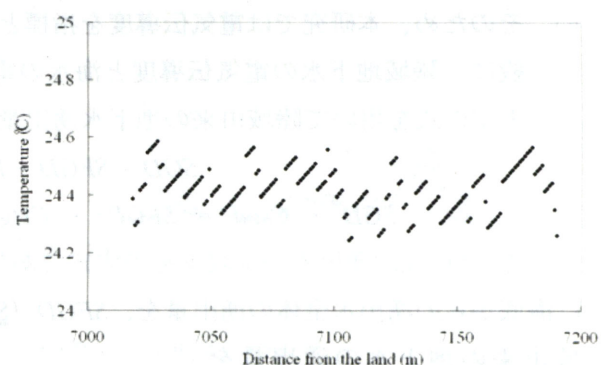


図 5. 海底面温度測定結果 (T5)

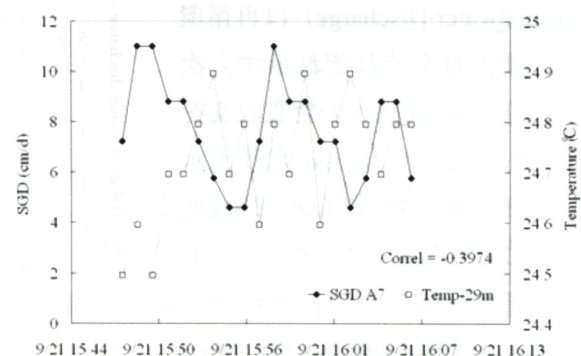


図 6. 海底面温度と地下水湧出量の比較 (A7&T5)

海底面の温度と地下水湧出量の時系列変化を示す。これを見ると両者には地下水湧出量が高い時には温度が低いという負の相関の傾向が見られる。現在の段階では海底面の温度と比較し得るデータが数少ないため信頼性に欠けるが、野外観測によりこの相関を明らかにすれば海底面温度から地下水湧出量を推測することが期待される。

まとめと今後の課題

黄河デルタからの水・物質輸送量を評価するために、黄河河口域沿岸においてシーページメータを用いた海底地下水湧出量の定量的評価を行った。本研究では、海岸から 7km 沖合いまでの地下水湧出量の分布が明らかになった。また、2004・2005 年度の観測結果と比較すると、湧出量の高い地点が年々、沖合いへとシフトする傾向が確認された。シーページメータにより得られた湧出量から、電気伝導度を指標として陸域由来のみの湧出量を算出した結果、海岸から約 3km 地点が最も湧出量が高いことが明らかになった。その他、地下水湧出地点探査を目的として、光ファイバーケーブルによる海底面温度測定を行った結果、顕著に温度変化の表れる地点は見られなかった。従って、本測定地点付近においては、地下水湧出が非常に活発な地点は見られないものと考えられる。

今後の課題としては、まず今回の結果をフロリダ大 G の結果と比較し、正確な地下水湧出量の評価を行うことがあげられる。また、図 3 で見られる地下水湧出量の高い地点が移動することについての評価も今後の課題としてあげられる。

参考文献

- 石飛智稔，谷口真人，陳建耀，小野寺真一，宮岡邦任，徳永朋祥，福嶋義弘（2005）：黄河河口域沿岸における海底地下水湧出調査，地球惑星関連合同大会要旨集，H120-P008
- 小山裕樹，張勁，萩原崇史，佐竹洋，浅井和見（2005）：富山県東部における広域海底湧水湧出量の推定，地球化学，39(3)，149-156
- 谷口真人，岩川浩照（2001）：連続熱供給型湧出量計を用いた大阪湾における海底地下水湧出量の測定．地下水学会誌，43(4)，271-277
- Henry J. Bokuniewicz (1992) : Analytical Descriptions of Subaqueous Groundwater Seepage. *Estuaries*, 15(4), 458-464.
- Kim. G. and D.W. Hwang (2002) : Tidal pumping of groundwater into the coastal ocean revealed from submarine Rn-222 and CH4 monitoring. *Geophys. Res. Lett.*, 29(14), 1-4.
- Taniguchi, M. (2002) : Tidal effects on submarine groundwater discharge. Into the ocean, *Geophys. Res. Lett.*, 29. 12. 10.1029/2002GL014987.
- Taniguchi M, T. Ishitobi and J. Shimada (2006) : Dynamics of submarine groundwater discharge and freshwater-seawater interface, *J. Geophys. Res.*, 111, C01008, doi:10.1029/2005JC002924.